

ASENKRON GENERATÖRÜN UÇ GERİLİMİNİN KONTROLÜ İÇİN UYARTIM KONDANSATÖRÜNÜN ANAHTARLANMASI

Sencer ÜNAL

Yakup DEMİR

Mehmet ÖZDEMİR

Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü 23119 ELAZIĞ

(sencerunal@firat.edu.tr)

(ydemir@firat.edu.tr)

(mozdemir@firat.edu.tr)

ÖZET

Bu bildiride, kendinden uyarımlı asenkron generatörün uç geriliminde yük ve hızdan dolayı meydana gelebilecek değişimleri önleyebilmek amacıyla ORCAD-PSPICE V9.0 devre tasarım programına dayalı bir benzetim sunulmuştur. PSPICE programına dayanan bu model ile, kendinden uyarımlı asenkron generatörün sargıları arasındaki gerçek fiziksel bağlantıların incelenmesi ve kontrol tekniklerinin daha ayrıntılı gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, kendinden uyarımlı asenkron generatörün matematiksel modeli ile PSPICE paket programında uygun devreler kurularak yeni bir benzetim modeli hazırlanmıştır. Bu modelde, uyarım için kullanılan kondansatörlere paralel olarak çift yönlü IGBT' ler bağlanarak, değişik hız ve yük değerlerine göre gerekli mıknatıslanma akımını sağlamak için uyarım kondansatörleri anahtarlanmıştır. Benzetim sonuçlarından, generatörün geriliminde oluşacak değişimler karşısında IGBT' lerin anahtarlama frekanslarının uygun oranda ayarlanması ile uç gerilimindeki değişimlerin engellenebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler:

Generatör, Kontrol, Uyarım Kondansatörü

1. GİRİŞ

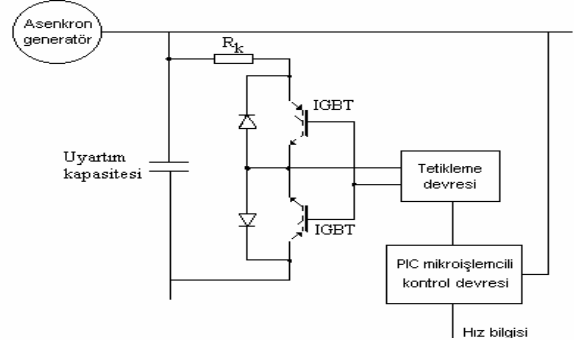
Son yıllarda enerjiye olan ihtiyacın artması, araştırmacıların yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ekonomik ve güvenilir bir biçimde işleme sokabilmek için yoğun çaba sarfettiklerine neden olmuştur. Bu kaynaklardan bir tanesi de rüzgar gücüdür [1]. Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için, rotor dönme hızının rüzgar hızına bağlı olarak sürekli değişken olması ve ucuzluğu gibi nedenlerle asenkron generatörün kullanımı yaygın bir uygulama olarak göze çarpmaktadır [2].

Bu tür sistemlerde amaç generatör-türbin bileşiminin değişen rüzgar hızı ve yük koşullarında sabit gerilim ve frekans üretebilmesidir. Ancak bu sistemlerin bazı sorunları bulunmaktadır. Generatör rüzgar hızına bağlı olarak değişik frekanslarda çalıştırılmak zorunda olduğundan generatörün uç

gerilimi ve frekansı buna bağlı olarak sürekli değişecektir [2,3]. Generatör yük ile çalışırken, yükün özelliğine göre mıknatıslanma akımının değeri değişecek ve bu da uç geriliminin değişmesine neden olacaktır. Yükün çektiği akımın içerdiği indüktif bileşen ne kadar küçük olursa, generatör uçlarında üretilen gerilimin değişimi o kadar küçük olacaktır [4,5]. Uç geriliminde meydana gelecek bu değişimleri önleyebilmek için uyarım kondansatörlerinin, tahrik sisteminin veya rotoru sargılı olan asenkron generatörlerde rotor devresinin direncinin kontrolü gerekmektedir [5,6].

Gerilim seviyesinin değişimini önlemek için bir çok çalışma yapılmıştır [2,5]. Bu çalışmaların çoğunda uç gerilimi; generatör, akü ve inverter sistemleri ile veya rüzgar hızına bağlı olarak uyarım kapasitesine bağlanan tristörlü A.C. kıyıcıların kontrolü ile korunmaktadır. Ayrıca uç gerilimi, rotoru sargılı asenkron generatörlerde uyarım kondansatörünün değeri sabitken rotor direncinin değiştirilmesiyle de korunabilmektedir.

Bu çalışmada, kendinden uyarımlı asenkron generatörün uç geriliminde meydana gelebilecek değişimleri önleyebilmek amacıyla ORCAD-PSPICE V9.0 devre tasarım programına dayalı bir benzetim yapılmıştır. Bu benzetim programında Şekil-1'de görüldüğü gibi uyarım kondansatörlerine paralel olarak çift yönlü IGBT' ler bağlanmıştır. Bu IGBT' ler ile, değişik hız ve yük değerlerine göre gerekli mıknatıslanma akımını sağlayacak şekilde uyarım kondansatörleri anahtarlanmış ve uç geriliminde meydana gelebilecek değişimlerin engellendiği görülmüştür.



Şekil 1. Asenkron generatörün uç geriliminin kontrolü için gerçekleştirilecek devrenin blok diyagramı

2. MODEL

Bu çalışmada, kendinden uyarımlı asenkron generatörün benzetim modelinin oluşturulabilmesi için gerekli olan matematiksel denklemler faz değişkenleri modeli yaklaşımı ile çıkarılmıştır. Buna göre, stator ve rotor için üç fazlı olmak üzere toplam gerilim denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$[V_{s,r}] = [R_{s,r}] [i_{s,r}] + [L_{s,r}] \left[\frac{di_{s,r}}{dt} \right] + \left[\frac{dL_{s,r}}{d\theta} \right] [i_{s,r}] \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

Burada $[L_{s,r}]$ indüktans matrisi olup, açısal hız

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (2)$$

dir. Momentin ani değeri;

$$T_e = -\frac{P}{2} [i_{s,r}]^T \frac{\partial [L_{s,r}]}{\partial \theta} [i_{s,r}] \quad (3)$$

olup, asenkron generatörde hareket denklemi;

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (T_L - T_e) \quad (4)$$

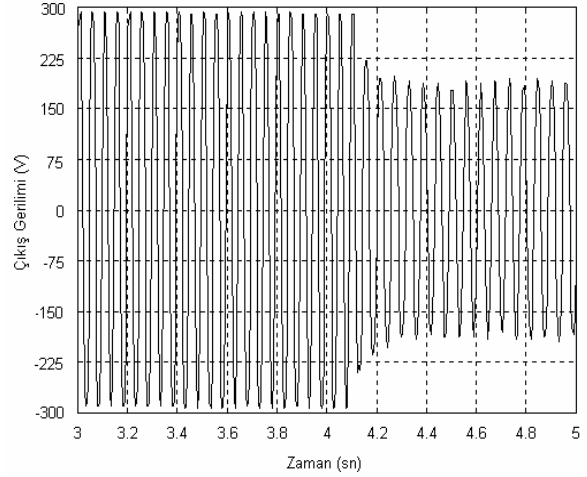
dir.

Şekil-2’de asenkron generatör yüklendiği zaman uç geriliminde meydana gelen değişimlerin deneysel ve benzetim sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlardan generatör uçlarındaki gerilimin yükün değerine bağlı olarak azaldığı gözlenmektedir. Generatörlerde üretilen gerilimin genlik değerinin değişmesi istenilen bir durum değildir. Bunun için her yük durumunda generatörün ürettiği gerilimi ayarlamak gerekir.

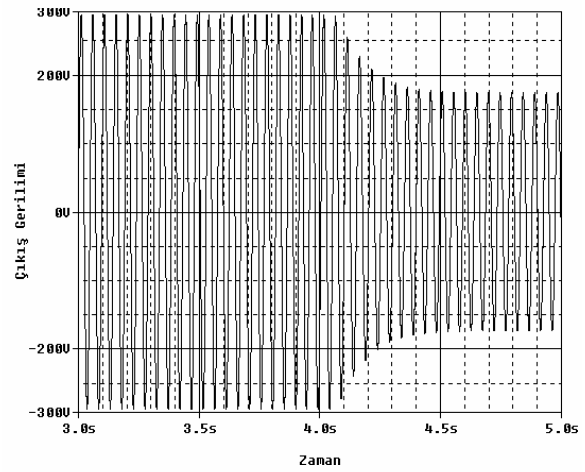
Asenkron generatörlerde üretilen gerilimin değeri ya tahrik hızı yada uyarım için dışarıdan bağlanan kondansatörlerin değerlerine bağlıdır. Dolayısıyla yüke bağlı olarak gerilimde meydana gelecek değişimler ya tahrik sisteminin kontrolü ya da uyarım için bağlanan kondansatör değerlerinin kontrolü ile engellenebilir. Tahrik sisteminin kontrolü ile hızın değiştirilmesi generatörün ürettiği gerilimin frekansını etkileyecektir. Bu nedenle gerilimin kontrolü için uyarım kondansatörünün kontrol edilmesi daha uygun olacaktır. Bu kontrol, ya uyarım kondansatörüne yeni kondansatörler ekleyerek yada uyarım kondansatörü anahtarlanarak yapılabilir. Uyarım kondansatörünün reaktansı;

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} \quad (5)$$

dir. Kondansatörün anahtarlanması ile uyarım kondansatörünün frekans değeri ve buna bağlı olarak



a) Deneysel sonuç

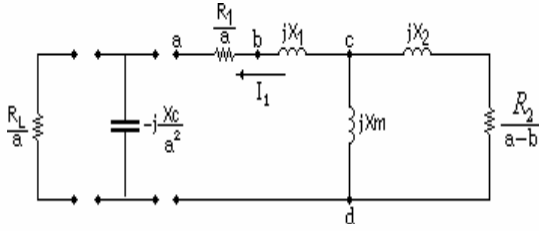


b) Benzetim programı sonucu

Şekil 2. 171 μF ’lık uyarım kondansatörüne sahip bir asenkron generatörün uçlarına 30 Ω ’luk omik bir yük alınması durumunda uç geriliminin değişimi

da kapasitif reaktans değeri değişecektir. Reaktansta meydana gelecek bu değişim ile de asenkron generatörün mıknatıslanma akımının değeri değişecektir. Böylece yük değişimlerinde generatör uç gerilimini sabit tutacak mıknatıslanma akım gereksinimi, kondansatörün anahtarlanmasıyla sağlanacaktır.

Gerekli anahtarlama frekansının bulunması için, üç fazlı kendinden uyarımlı asenkron generatörün ihtiyaç duyduğu reaktif akımı karşılayabilmek için gerekli olan kondansatör değerinin hesaplanabilmesine ilişkin bir algoritmadan faydalanılmıştır [7]. Bu algorithmada kondansatör değeri, asenkron generatörün Şekil-3’de görülen sürekli durumdaki bir fazına ilişkin eşdeğer devresinden hesaplanmaktadır.



Şekil 3. Asenkron generatörün bir faz için eşdeğer devresi

Sürekli durumda eşdeğer devrede;

$$I_1 \cdot Z_t = 0 \quad (6)$$

dır. Burada;

$$Z_t = Z_1 + [Z_L // Z_c] + [Z_m // Z_2]$$

$$Z_1 = \frac{R_1}{a} + jX_1, \quad Z_2 = \frac{R_2}{a-b} + jX_2, \quad Z_m = jX_m$$

$$Z_c = \frac{-jX_c}{a^2}, \quad Z_L = \frac{R_L}{a}$$

dır. Generatörün gerilim üretebilmesi için $I_1 \neq 0$ olmalıdır. Bu durumda, $Z_t = 0$ olur, yani

$$\begin{aligned} \text{reel}(Z_t) &= 0 \\ \text{imaj}(Z_t) &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

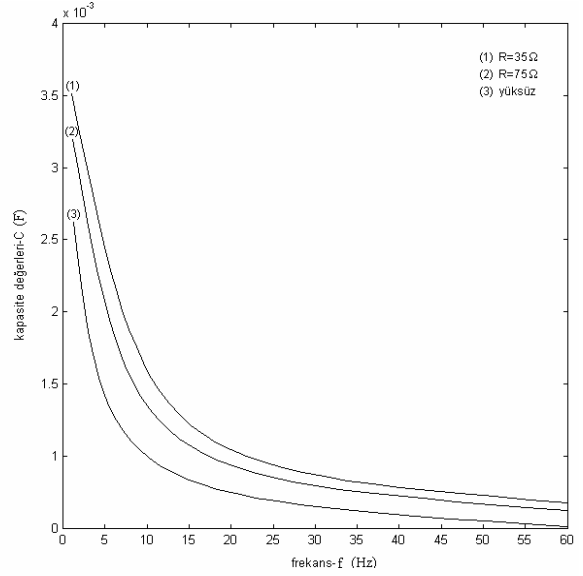
olur. Burada reel eşitliğin çözümü a değerlerini, imajiner eşitliğin çözümü ise kondansatör değerini verecektir. Buna göre elde edilen uyartım kondansatörünün değeri;

$$C = \frac{X_{ad}}{\omega \cdot a^2 \cdot (R_{ad}^2 + X_{ad}^2)} \quad (8)$$

olur. Bu ifade sayesinde elde edilen Şekil-4' deki değişimlerden, değişik yük ve hız durumlarında gerekli olan mıknatıslanma akımını sağlayacak kondansatör değerleri hesaplanmakta ve bu değeri sağlayacak anahtarlama frekansı bulunarak, uyartım kondansatörleri anahtarlanamaktadır.

3. PSPICE BENZETİM MODELİ

PSPICE devre tasarım programı kullanılarak, kendinden uyartımlı asenkron generatör için tüm sistemin benzetimini yapan devreler kurulmuştur [9]. Bu modelde uyartım için bağlanan kondansatörlere paralel olarak IGBT'lerden oluşan çift yönlü anahtarlar yerleştirip, bu anahtarların kontrolü ile uyartım kondansatörlerinin frekansının değiştirilmesi

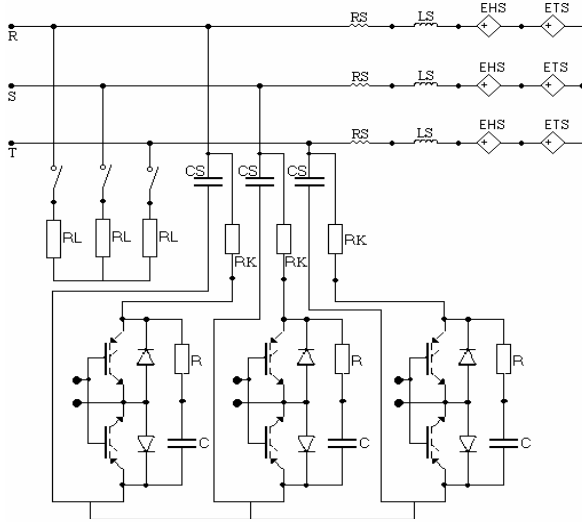


Şekil 4. Kapasite değeri-frekans değeri değişimi

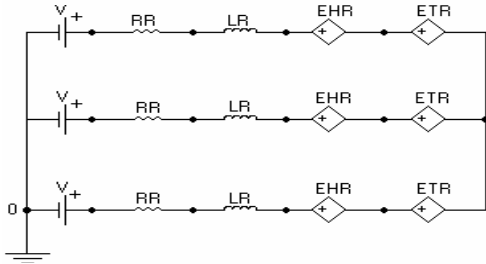
sağlanır ve bu durumda da yüke göre gerilimde meydana gelecek değişimler gözlemlenebilir. Kendinden uyartımlı asenkron generatörün matematiksel modeline uygun ve anahtarların yerleştirilmesi ile oluşturulan PSPICE modelinin eşdeğer devresi Şekil-5' de görülmektedir.

Bu modelde kondansatörlerin anahtarlama için IGBT'lerden oluşmuş çift yönlü anahtarlar kullanılmıştır. Çift yönlü anahtar yapısında iki adet IRG4BC20UD isimli IGBT kullanılmıştır. Bu IGBT'lerin iç yapısında fast recovery diyod olduğundan, çift yönlü anahtar yapısındaki diyodun devrede kullanımına ve modellenmesine gerek kalmamıştır. Ayrıca her bir kolundaki çift yönlü anahtarla birlikte, kapanma anlarında oluşan yüksek gerilim piklerinden devreyi korumak için R-C' den oluşan snubber devresi kullanılmıştır. Bu devre diğer snubber devreleri ile karşılaştırıldığında dezavantajları olmasına rağmen devrenin karmaşıklığını azaltmak için tercih edilmiştir.

Stator ve rotor için (1)'deki toplam gerilim ifadesinde açısal hıza ve indüktansların türevlerine bağımlı olarak yazılan terimlere "hareket gerilimleri", akımın türevlerine bağımlı terimlere ise "transformatör gerilimleri" denilmektedir. Eşdeğer devrelerde hareket gerilimleri 'EH', transformatör gerilimleri ise 'ET' ile gösterilmiştir [9].



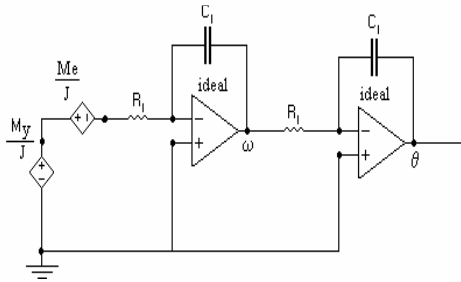
a) Uyarım kondansatörünün anahtarlanması durumunda asenkron generatörün stator eşdeğeri



b) Asenkron generatörün rotor eşdeğeri

Şekil 5. Asenkron generatörün eşdeğer devresi

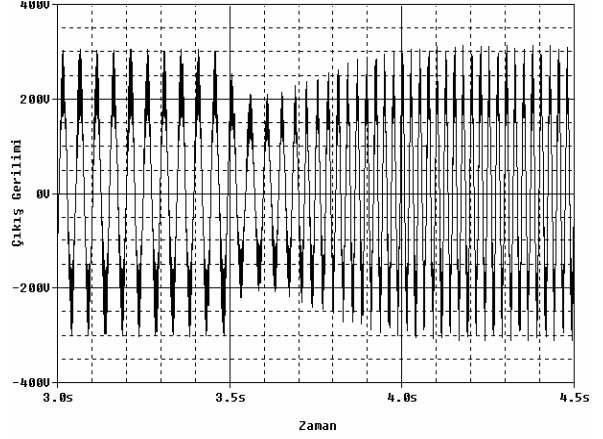
Şekil-6' daki eşdeğer devre Denklem (2) ve Denklem (4)' e göre kurulmuş olup, açısal hız ve dönme açısının hesaplanmasında kullanılmaktadır.



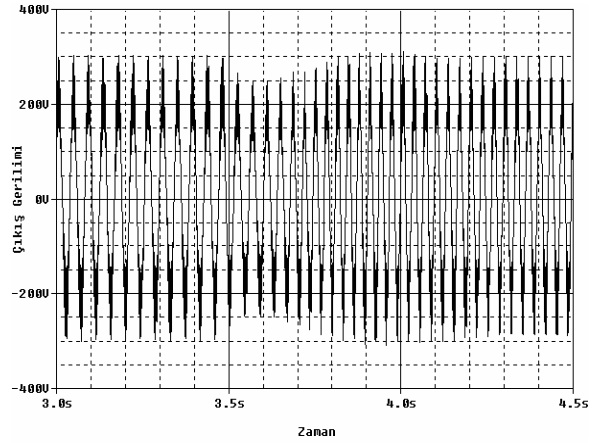
Şekil 6. Elektromekanik tanımlamaları gerçekleyen devreler

4. BENZETİM SONUÇLARI

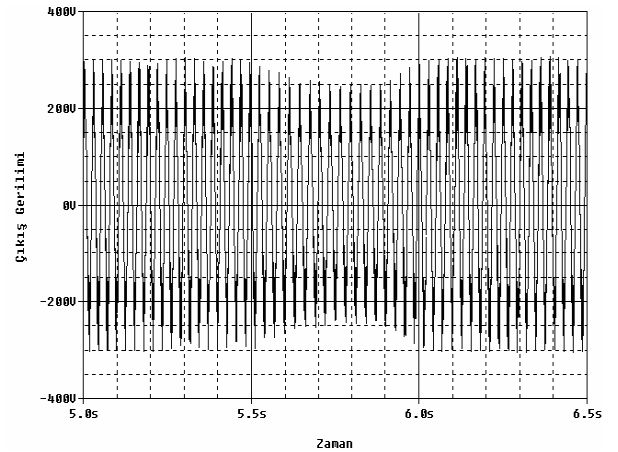
PSPICE benzetim programıyla, asenkron generatörün değişik anahtarlama frekansı, hız ve yük değişimleri için elde edilen benzetim sonuçları Şekil 7 ve 8' de görülmektedir.



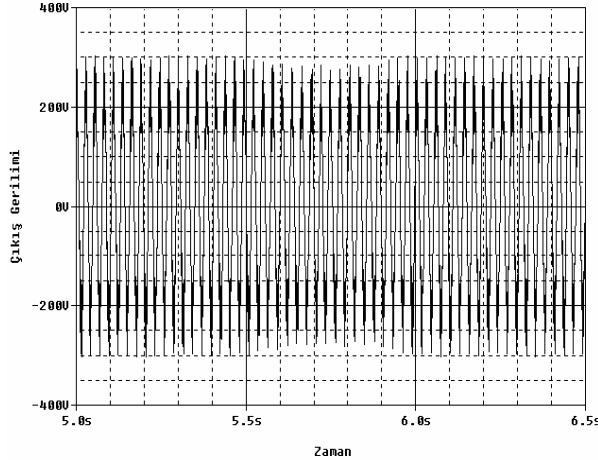
Şekil 7-a. 96 Hz' lik anahtarlama frekansı ve 30Ω ' luk omik yük için generatör uç geriliminin değişimi (uyarım kondansatörünün değeri $C=154\mu F$, karşılık gelen kondansatör değeri $C=364\mu F$)



Şekil 7-b. 70 Hz' lik anahtarlama frekansını ve 75Ω ' luk omik yük için generatör uç geriliminin değişimi (uyarım kondansatörünün değeri $C=154\mu F$, karşılık gelen kondansatör değeri $C=278\mu F$)



Şekil 8-a. Tahrik hızının 1380 dev/dk' dan 1280 dev/dk' ya düşmesi durumunda, 102 Hz' lik anahtarlama frekansı ve 30Ω ' luk omik yük için generatör geriliminin değişimi (uyarım kondansatörünün değeri $C=154\mu F$, karşılık gelen kondansatör değeri $C=372\mu F$)



Şekil 8-b. Tahrik hızının 1380 dev/dk'dan 1280 dev/dk'ya düşmesi durumunda, 74 Hz'lik anahtarlama frekansı ve 75 Ω 'luk omik yük için generatör uç geriliminin değişimi (uyartım kondansatörünün değeri C=154 μ F, karşılık gelen kondansatör değeri C=284 μ F)

Şekil-2' de asenkron generatörün dirençle yüklenmesi durumunda geriliminin değişimi verilmişti. Burada gerilimin seviyesinin korunabilmesi için herhangi bir önlem alınmadığından generatörün geriliminin yüklendikten sonra azaldığı gözlenmiştir. Gerilimdeki bu değişimleri önlemek için uyartım kondansatörlerinin anahtarlama ile elde edilen benzetim sonuçları Şekil 7 ve 8' de verilmiştir. Şekil 7-a' da 154 μ F'lık kondansatörle uyartılan bir asenkron generatör 3.5 saniye sonra 30 Ω 'luk dirençle yüklenmiştir. Bu anda uyartım kondansatörlerinin 96 Hz'lik frekans ile anahtarlama başlanması sonucu gerilimin 0.4 saniye sonra eski seviyesine ulaşması sağlanmıştır. Şekil 7-b' de ise 154 μ F'lık kondansatörle uyartılan bir asenkron generatör 3.5 saniye sonra 75 Ω 'luk dirençle yüklenmiştir. Bu anda uyartım kondansatörlerinin 70 Hz'lik frekansla anahtarlama sonucu generatör geriliminin yaklaşık olarak 0.3 saniye sonra eski seviyesine ulaştığı görülmüştür. Şekil 8-a' da 154 μ F'lık kondansatörle uyartılan ve uçlarında 30 Ω 'luk bir yük bulunan asenkron generatörün hızı 5.5 saniye sonra 1380 dev/dk' dan 1280 dev/dk'ya düşmüştür. Bu anda uyartım kondansatörlerinin 102 Hz'lik frekans ile anahtarlama başlanması sonucu gerilimin 0.52 saniye sonra eski seviyesine ulaşması sağlanmıştır. Şekil 8-b' de 154 μ F'lık kondansatörle uyartılan ve uçlarında 75 Ω 'luk bir yük bulunan asenkron generatörün hızı 5.5 saniye sonra 1380 dev/dk' dan 1280 dev/dk'ya düşmüştür. Bu anda uyartım kondansatörlerinin 74 Hz'lik frekansla anahtarlama sonucu generatör geriliminin yaklaşık olarak 0.46 saniye sonra eski seviyesine ulaştığı görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, uyartım kondansatörleri çift yönlü IGBT'ler ile kontrol edilen kendinden uyartımlı asenkron generatörün değişik yük ve hız değerlerinde geriliminin değişmemesi için PSPICE devre tasarım programı yardımıyla kurulan bir benzetim modeli verilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi devreye yük alınması ve hızın değişmesi durumunda uyartım kondansatörünün belirlenen frekanslarda anahtarlama ile ihtiyaç duyulan akım karşılanmakta ve bu sayede gerilimin seviyesi korunabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kocaoğlu, M., Ermiş, M., (1985), Rüzgar Türbinlerinin Tiristör Denetimli DA Motoru ile Mikrobilgisayar Destekli Simulasyonu, Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongresi, Adana
- [2] Demirekler, M., Üçtuğ, Y., (1985), Rüzgar Türbini ile Sürülen Kendinden Uyartımlı Endüksiyon Generatörünün Modellenmesi ve Denetimi, Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongresi, Adana
- [3] Elder, J. M., Boys, J. T., and Woodward, J. L., The Process of Self-Excitation in Induction Generators, IEE Proceedings, March 1983, Pt. B, No. 2, 103-108
- [4] Bohmann, L. J., Wiitanen, D. O., A Variable Voltage and Frequency Scheme to Optimize The Efficiency of A Wind-Driven Induction Generator, Electric Machines and Power Systems, 24:429-435,1996
- [5] Abdel-Halim, M. A., Shaltout, A. A., Solid-State Control of a Wind-Driven Self-Excited Induction Generator, Electric Machines and Power Systems, 23:571-582,1995
- [6] Singh, B., Induction Generators-A Prospective, Electric Machines and Power Systems, 23:163-177,1995
- [7] Chan T. F., Capacitance Requirements of Self-Excited Induction Generators, IEEE Transactions on Energy Conversion, June 1993, No.2, 304-311
- [8] Shridhar, L., Singh, B., Jha, C. S., Singh B. P., and Murthy, S. S., Selection of Capacitors for The Self Regulated Shunt Shunt Self Excited Induction Generators, IEEE Transactions on Energy Conversion, September 1995, No.3, 10-17
- [9] Özdemir, M., Bayındır, M. İ., Onbilgin, G., Steady-State and Transient Performance of Series Excited Synchronous Motor, The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Volume 21, Number 3, 2002
- [10] Grantham, C., Sutanto, D., and Mismail, B., Steady-State and Transient Analysis of Self-Excited Induction Generators, IEE Proceedings, March 1989, Pt. B, No. 2, 61-68
- [11] Salama, M.H.,Holmes, P.G., Transient and Steady-State Load Performance of a Stand-Alone Self-Excited Induction Generator. Proc IEE,143(1):50-58,1996